

BOGUTA Artur

## Zastosowanie trackerów solarnych w mikroelektrowniach fotowoltaicznych

### WSTĘP

Zwiększające się zapotrzebowanie na energię elektryczną wymusza badania nad jej pozyskiwaniem z niekonwencjonalnych źródeł. Elektrownie konwencjonalne pokrywają bieżące zapotrzebowanie ale polityka UE wymusza zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>. Jedną z możliwości sprostania tym wymogom jest zastosowanie mikroelektrowni fotowoltaicznych.

Ogniwa fotowoltaiczne są ograniczone pod względem czasu produkcji energii tylko do pory dziennej, przez co zachodzi potrzeba magazynowania jej w czasie normalnej pracy. W tym celu stosuje się sterowniki, które czuwają nad procesem ładowania i pilnują aby akumulatory w których przechowywane jest energię elektryczną, pracowały jak najdłużej w systemie, oraz nie uległy zniszczeniu w skutek nieprawidłowych parametrów pracy.

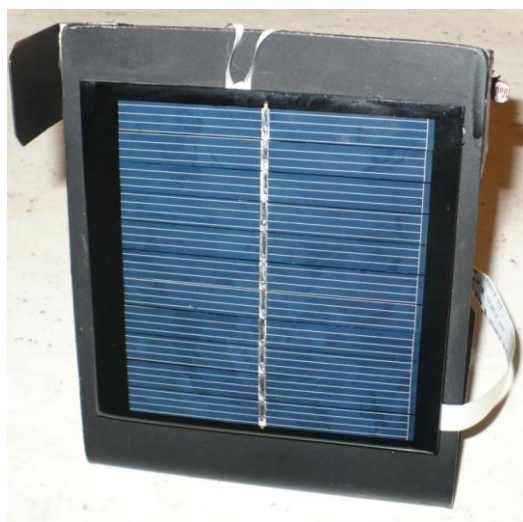
Sprawność ogniw uzależniona jest od pory dnia, pory roku i zachmurzenia. Dla maksymalnego wykorzystania wydajności ogniw stosuje się obrotnice, które kierują je prostopadle do padających promieni słonecznych. Rozwiązanie takie zwiększa ilość energii elektrycznej uzyskanej z ogniw w ciągu dnia, ale znacznie zwiększają koszt budowy i eksploatacji instalacji fotowoltaicznej.

Celem pracy jest przeprowadzenie analizy czy zastosowanie trackerów (obrotnic) wpłynie na obniżenie kosztów budowy instalacji fotowoltaicznej.

### 1. BADANIE WYDAJNOŚCI OGNIWA STACJONARNEGO I OBROTOWEGO

#### 1.1. Stanowisko badawcze

Badanie wydajności ogniw fotowoltaicznych przeprowadzono wykorzystując dwa ogniwa GH95X95 o małej mocy. Jedno z badanych ogniw przedstawiono na rysunku 1.1.



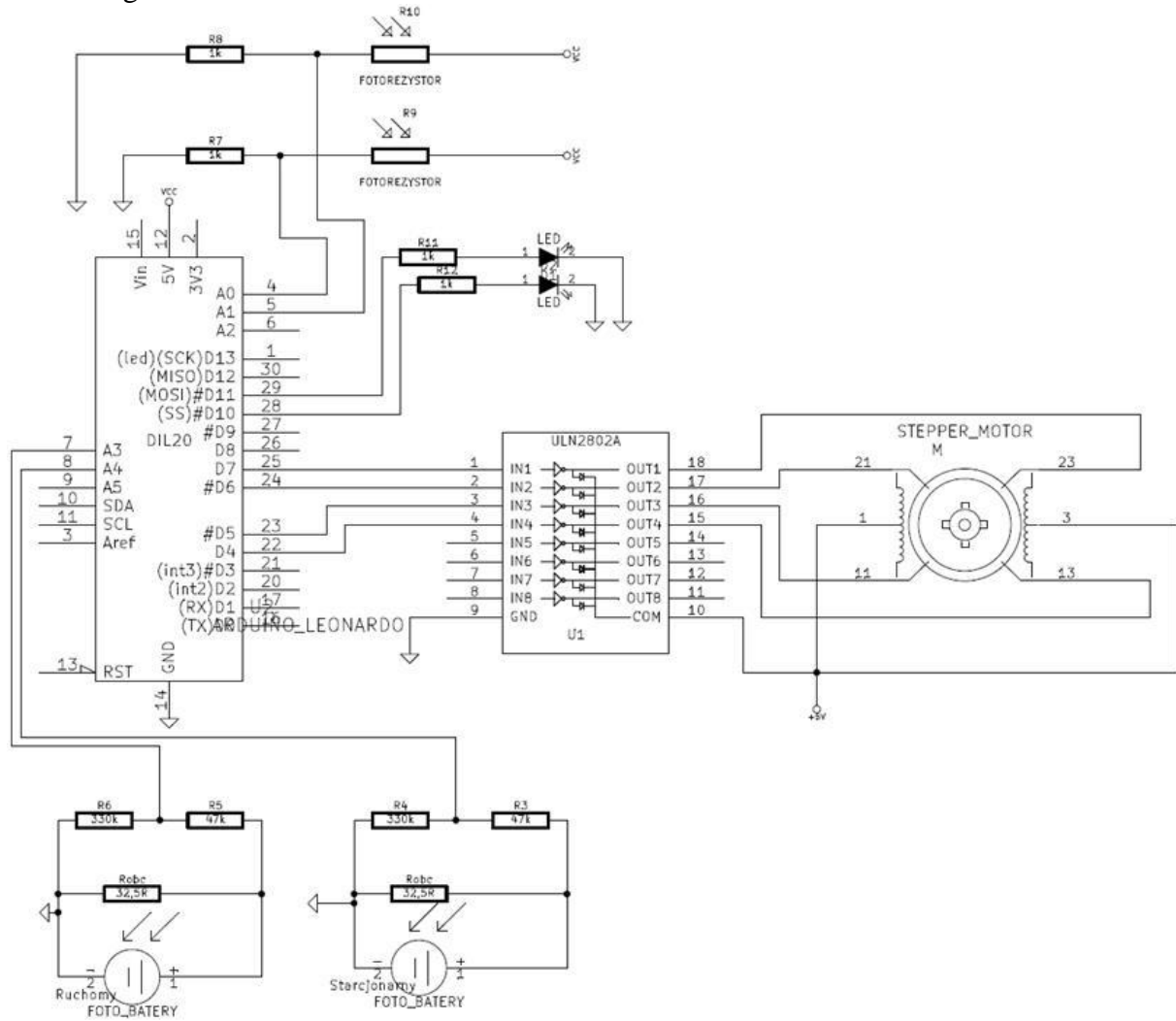
**Rys.1.1.** Jedno z ogniw fotowoltaicznych użytych do badań

Pierwsze z ogniw ustawione było w kierunku południowym prostopadle do słońca. Drugie ogniwo było zamocowane pod tym samym kątem na obrotnicy. Obrotnica wyposażona była w układ elektryczno-mechaniczny, który podążał za słońcem wybierając największe natężenie światła.

Układ śledzący położenie słońca wykorzystywał dwa fotorezystory wyposażone w odpowiednie przesłony. Na podstawie różnicy rezystancji fotorezystorów ustalane było optymalne położenie ogniwa ruchomego. Schemat elektroniczny układu wykorzystujący jedną z płytek Arduino Leonardo [2] z mikrokontrolerem Atmega32u4 przedstawiono na rysunku 1.2.

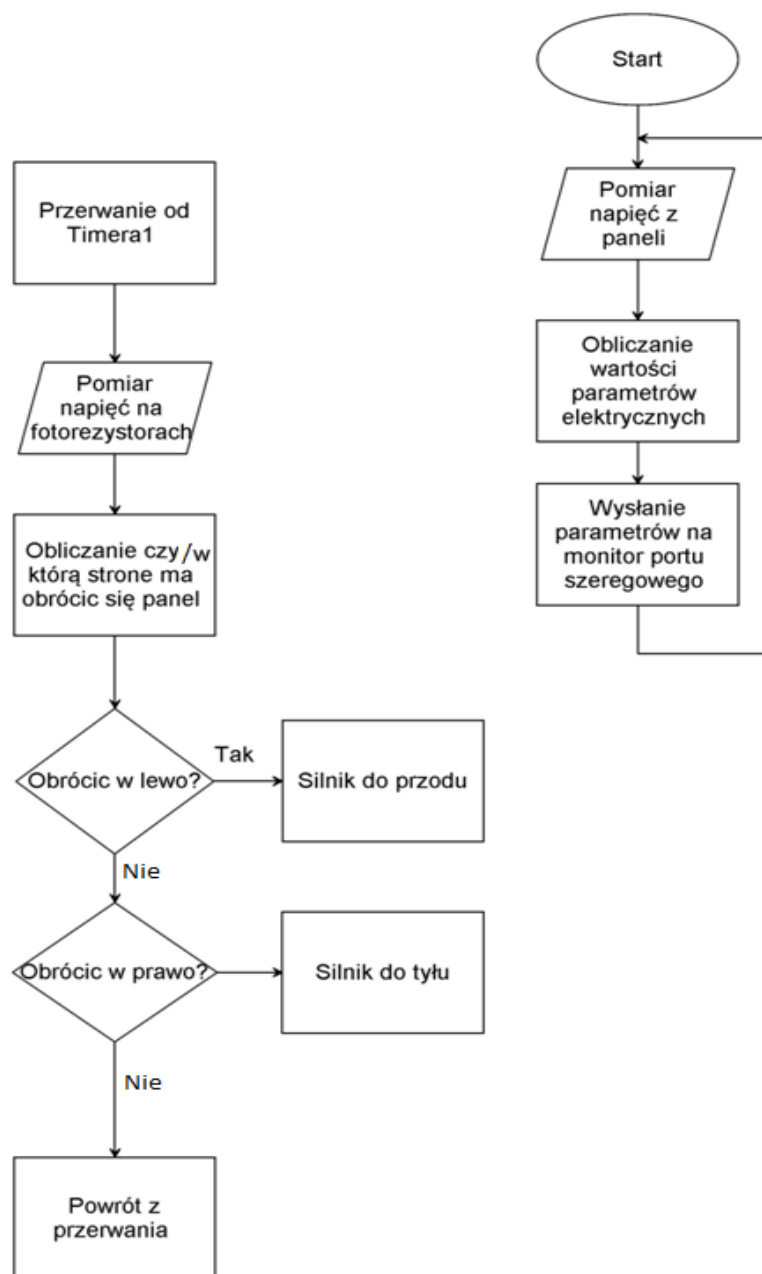
Ustawieniem położenia ogniwa zarządzał mikrokontroler, który sterował silnikiem krokowym przy użyciu algorytmu przedstawionego na rysunku 1.3.

Pomiary polegały na ciągłej rejestracji napięcia na obciążeniu zarówno dla ogniwa stacjonarnego jak i ruchomego.



**Rys.1.2.** Schemat ideowy sterownika położenia ogniwa fotowoltaicznego

Sterowaniem położenia ogniwa zarządzał mikrokontroler, który sterował silnikiem krokowym przy użyciu algorytmu przedstawionego na rysunku 1.3.



Rys.1.3. Algorytm sterujący pracą traktora

Przeprowadzenie pomiarów polegało na rejestracji napięcia i prądu na obciążeniu rezystancyjnym zarówno dla ogniwa stacjonarnego jak i ruchomego.

W programie został wykorzystany Timer [1] który co 0,5 sekundy wysyła przerwanie i program sterujący przełącza się na procedurę sprawdzenia napięć na ogniwach. W głównej pętli zostało wstawione opóźnienie, co powoduje że pomiary dokonywane są co 10 sekund.

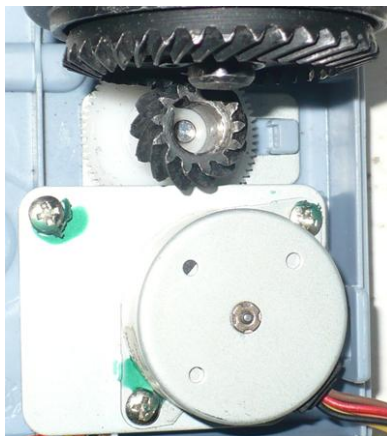
Przy lokalizacji i czasie gdzie zostały wykonane badania słońce wschodzi o godzinie  $4^{14}$  a zachodzi o  $20^{44}$  co teoretycznie daje 16,5 godzin, w których słońce operuje na niebie, daje to nam teoretycznie 5940 pomiarów. Dzięki tak dużej liczbie próbek możliwe jest wykreślenie bardzo dokładnej charakterystyki mocy uzyskanej z poszczególnych paneli.

Pomiary przeprowadzono w czasie jednego letniego przy zmiennym zachmurzeniu.

Oba ogniwa zostały obciążone stałą rezystancją o wartości równej rezystancji wewnętrznej ogniwa, przy której uzyskuje się największą sprawność ( $32,2\Omega$ ). W badaniach zostały wykorzystane panele

słoneczne GH95X95 o mocy 0,93W przy napięciu 5.5V i prądzie 170 mA. Sprawność ogniów wg. danych producenta wynosi około 16%.

W układzie napędowym zastosowano silnik krokowy z drukarki laserowej i przekładnię kątową. Układ napędowy wraz z przekładnią przedstawiono na rysunku 1.4



**Rys.1.4.** Widok układu napędowego i przekładni kątowej

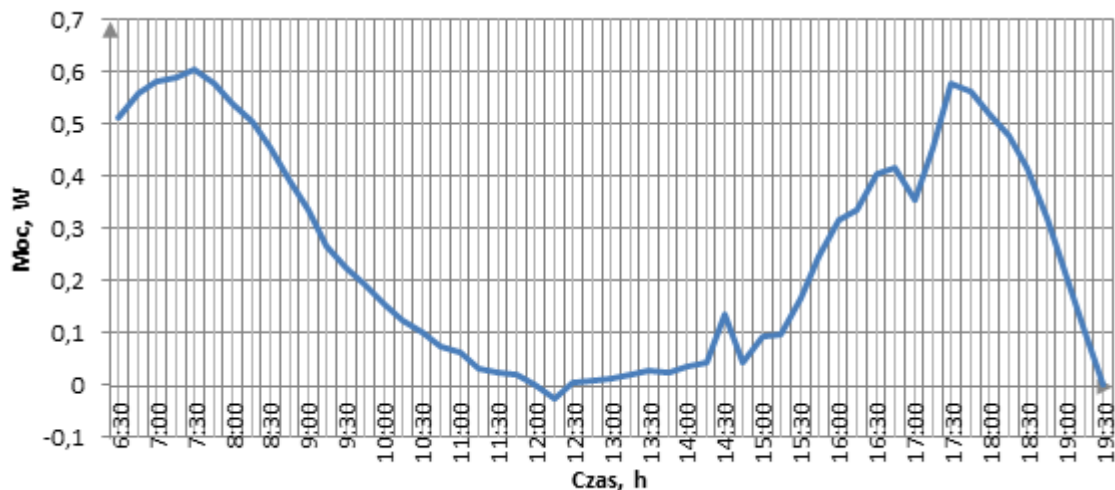
## 1.2. Wyniki badań

Analizując wyniki pomiarów łatwo można zauważyć znaczny wzrost mocy jaka można było uzyskać z ogniwa ruchomego, względem stacjonarnego. Szczególnie dotyczy to godzin porannych i wieczornych kiedy słońce oświetlało panel stacjonarny pod bardzo ostrym kątem. W pierwszej i ostatniej godzinie pomiarów promienie słoneczne padały na tylną ściankę podstawy ogniwa stacjonarnego, przez co panel mógł wytwarzać znikome ilości energii pochodzącej od promieniowania rozproszonego. Ogniwo obrotowe produkowało energię elektryczną przez cały okres badań, jedynym ograniczeniem były warunki pogodowe.

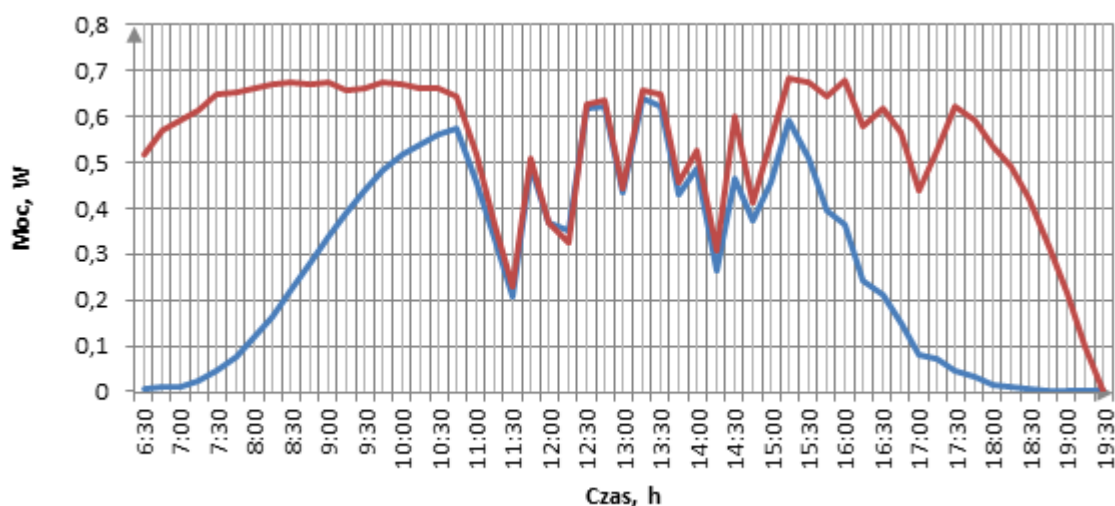
Przy dużym zachmurzeniu energia uzyskiwana z ogniów była na porównywalnym poziomie z korzyścią dla ogniwa ruchomego.

Podczas silnego zachmurzenia można było zauważyć że ogniwo obrotowe ustawia się nie w kierunku słońca ale w kierunku z którego dochodziło najwięcej promieniowania rozproszonego. Powodowało to sytuacje w których ogniwo obracało się w przeciwnym kierunku do ruchu słońca, i dopiero w momencie przejścia chmury i pełnego oświetlenia ogniwa mechanizm wracał do prawidłowej pozycji. Zjawisko to ma negatywny i pozytywny wpływ. Przy silnym i długo utrzymującym się zachmurzeniu zwiększało moc uzyskaną z ogniów o około 10%. Przy przelotnych chmurach wprowadzało niepotrzebne obroty i zwiększało długość czasu potrzebnego na ustawienie się ogniwa, a zarazem zmniejszało ilość energii, którą można było uzyskać w czasie gdyby ogniwo pozostało na poprzedniej pozycji.

Gdy słońce bezpośrednio świeciło na panele obrotowa działała zgodnie z przewidywaniami, śledziła ruch słońca i ustawiała panel w optymalnym położeniu. Na rysunku 1.5 przedstawiony został przyrost mocy uzyskanej z ogniwa ruchomego względem stacjonarnego w dobrze nasłonecznionym dniu.



Rys.1.5. Średni przyrost mocy z ogniwa ruchomego względem stacjonarnego w dzień słoneczny



Rys. Przebieg mocy uzyskanej w dzień słoneczny, czerwony – ogniwo ruchome, niebieski – ogniwo stacjonarne.

Średnio ogniwo ruchome wyprodukowało 87,5% energii więcej niż ogniwo stacjonarne. Średnia moc uzyskana z ogniwa ruchomego w ciągu całego dnia wyniosła  $P_{\text{obr}}=0,55\text{W}$ , a dla ogniwa stacjonarnego  $P_{\text{stacj}}=0,293\text{W}$

### 1.3. Ekonomiczne uzasadnienie stosowania trackerów w instalacji fotowoltaicznej

Koszty instalacji fotowoltaicznej w Polsce zaczynają się od 3,3 PLN za 1W mocy ogniwa. Koszt pakietu baterii słonecznej 4\*250W o mocy łącznej 1kW wyniósłby w przybliżeniu 3300 PLN. Mocowania do paneli stacjonarnych wyniósłby około 700 PLN, co daje łącznie 4000 za całą instalację na dachu.

Ceny instalacji z obrotnicą są na wysokim poziomie i są stosunkowo ciężko dostępne. Niewiele firm zajmuje się takimi produktami, dlatego są jeszcze w Polsce mało popularne. Koszt trackera na 4 panele fotowoltaiczne o moc 1kW wynosi około 6500 PLN. Całkowity koszt ogniwa plus tracker to 9800 PLN. Średnio panel o mocy 250W ma powierzchnię ok. 1,68m<sup>2</sup> co daje 6,72m<sup>2</sup> dla pakietu 1kW.

Na naszej szerokości geograficznej i przy odpowiednich warunkach pogodowych (bezchmurne niebo, godziny południowe, kiedy nasłonecznienie jest największe) można uzyskać nawet do 1100 kWh/m<sup>2</sup>/rok co daje dla 4 paneli PV 7392kWh rocznie. Obrotnica jest w stanie zwiększyć ilość energii uzyskanej rocznie nawet do około 85% więc otrzymujemy 13675,2 kWh.

Koszty instalacji z obrotnicą jest 2,5 razy większy od instalacji stacjonarnej. Biorąc pod uwagę ilość energii wyprodukowanej i cenę, ekonomiczniej jest zastosować 2,5 razy więcej paneli i zwiększyć ilość energii uzyskanej 2,5 krotnie, niż stosować obrotnicę i uzyskać przyrost wyprodukowanej energii o 85%.

W większości przypadków panele PV są montowane na dachu budynku, rzadziej na ziemi więc stosowanie obrotnic jest uzasadnione gdy ograniczona jest powierzchnia na zamontowanie ogniw.

Zastosowanie obrotnicy wiąże się dodatkowo z okresowymi przeglądami i konserwacjami mechanizmów napędzających. Dodatkowo obrotnica stawia dużo większy opór przy silnych wiatrach i burzach co przekłada się na niebezpieczeństwo uszkodzenia mechanizmów lub nawet jej uszkodzenia.

### WNIOSKI

Ogniwa słoneczne są istotnym elementem rozwoju przemysłu energetycznego w kierunku odnawialnych źródeł energii. Niestety obecnie produkowane ogniwa są jeszcze stosunkowo drogie co negatywnie przekłada się na ich popularność. Dodatkowo w przypadku gdy energia wyprodukowana przez ogniwa fotowoltaiczne ma być sprzedawana do sieci, cena zestawu wzrasta znacząco ze względu na certyfikowane falowniki, które mogą pracować we współpracy z siecią energetyczną. Pomimo tego prace nad zmniejszeniem kosztów przy jednoczesnym wzroście wydajności konwersji wciąż trwają.

Zastosowanie obrotnicy spowodowało przyrost energii względem ogniwa stacjonarnego o ponad 80%. Analizując koszt instalacji obrotnicy, jest ona nie opłacalna. Jediną zaletą obrotnicy jest większa ilość energii wyprodukowanej z tej samej powierzchni paneli. Do wad możemy zaliczyć:

1. duży koszt instalacji,
2. dodatkowe koszty związane z eksploatacją,
3. zwiększenie powierzchni oporu w przypadku wiatru,
4. duże ryzyko uszkodzenia instalacji podczas zmiennych warunków atmosferycznych,
5. trudności w wykonaniu instalacji.

W przypadku sprzedaży energii do sieci energetycznej moce instalacji powinny być wyższe od 4kWp. W celu zwiększenia mocy lepiej jest zastosować większą ilość paneli niż inwestować w drogie mechanizmy śledzące.

### Streszczenie

Ogniwa fotowoltaiczne są coraz powszechniej stosowane do produkcji energii elektrycznej. Ich zastosowanie wynika z rosnących cen energii elektrycznej jak również rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną. Zapotrzebowanie to wynika z faktu, że energia elektryczna jest nośnikiem napędzającym większość urządzeń.

Ogniwa fotowoltaiczne mogą produkować energię elektryczną tylko w czasie pory dziennej, przez co zachodzi potrzeba jej magazynowania. W tym celu stosuje się sterowniki, które czuwają nad procesem ładowania akumulatorów lub przekazują ją do systemu energetycznego.

Dla maksymalnego wykorzystania wydajności ogniw stosuje się obrotnice, które kierują je prostopadle do padających promieni słonecznych. Rozwiązanie takie zwiększa ilość energii elektrycznej uzyskanej z ogniw w ciągu dnia, ale znacznie zwiększają koszt budowy i eksploatacji instalacji fotowoltaicznej.

**Słowa kluczowe:** ogniwa fotowoltaiczne, baterie słoneczne, Arduino, mikrokontroler, obrotnica, solar tracker.

### Abstract

Photovoltaic cells are increasingly being used to produce electricity. Their use results from rising electricity prices as well as the growing demand for electricity. This demand stems from the fact that electrical energy is driving the majority carrier devices.

Photovoltaic cells can produce electricity only during the daytime, so there is a need for its storage. For this purpose, the drivers, who watch over the process of charging or transfer it to the energy system.

To maximize the efficiency of the cells used turntables to direct them perpendicular to the sunlight. This solution increases the amount of electricity from cells during the day, but significantly increase the cost of construction and operation of the PV system.

**Keywords:** photovoltaic cells, solar panels, Arduino, microcontroller, turntable, solar tracker

**BIBLIOGRAFIA**

1. Pawluczuk A. J., Sztuka programowania mikrokontrolerów AVR. Podstawy. BTC, Warszawa 2006.
2. Strona projektu Arduino - <http://www.arduino.cc/>